

**Pfeiffer Vacuum GmbH**

## **Gasreibungspumpe**

Die Erfindung betrifft eine Gasreibungspumpe nach dem Oberbegriff des ersten Anspruchs.

Gasreibungspumpen, insbesondere Turbomolekularpumpen, sind in vielen Anwendungsfällen, bei denen es um das Erreichen eines niedrigen Endvakuumdrucks geht, sehr erfolgreich.

Der Begriff Turbomolekularpumpe leitet sich aus der Ähnlichkeit zu Turbinen ab, d.h. Schaufelkränze sitzen abwechselnd auf Rotor und Stator. Die Pumpwirkung entsteht durch Zusammenwirken von Rotor und Stator und nimmt mit steigender Drehzahl des Rotors zu. Es gibt verschiedene Konzepte, diese Rotoren aufzubauen und zu lagern. In einer Variante sitzt die pumpaktive Struktur des Rotors auf einem Ende der Welle. Hergestellt werden kann diese Struktur beispielsweise aus Scheiben, in die Flügel gefräst werden und die anschließend auf die Welle aufgeschrumpft werden. Dadurch entsteht ein Scheibenpaket an einem Ende der Welle. Unterhalb dieses Scheibenpakets wird die Welle dann an zwei Punkten gelagert und mit einem Motor versehen, oftmals sitzt dieser zwischen den Lagerpunkten. Diese Art Lagerung bezeichnet man als fliegende Lagerung, der Schwerpunkt des Rotors liegt außerhalb der Lagerpunkte.

Eine andere Variante ist, den Rotor einstückig aus Vollmaterial herauszufräsen und innen hohl zu gestalten. Diese „Glocke“ wird dann über Lagervorrichtung und Motor gestülpt und mit einer darin befindlichen Welle verschraubt. Bei dieser Konstruktion liegt der Schwerpunkt des Rotors nahe am oder im oberen Lager der Welle.

Bei beiden Konstruktionen, insbesondere aber bei der fliegenden Lagerung, sind im oberen Lager wirkenden Kräfte hoch. Die dort eingesetzten Lager müssen also eine hohe Steifigkeit aufweisen.

Die einfachste Variante der Lagerung sind Kugellager. Durch die hohen Kräfte und Umlaufgeschwindigkeiten im oberen Lager ist ein Ölschmierung und -kühlung unabdingbar. Trotzdem ist die Lebensdauer der Kugellager begrenzt und ein Austausch muss in regelmäßigen Intervallen stattfinden.

Bedingt durch den Aufbau der Pumpe liegt das Kugellager des oberen, näher am Rotorschwerpunkt gelegenen Lagers sehr tief im Inneren der Pumpe. Damit sind sowohl die Ölversorgung schwierig als auch der Austausch aufwändig.

Ein weiteres Problem sind Kohlenwasserstoffdämpfe, die aus dem Öl des Kugellagers austreten. Diese werden zwar während des Laufens der Pumpe prinzipbedingt effektiv mitabgepumpt, bei Stillstand der Pumpe können sie jedoch in den abzupumpenden Rezipienten gelangen. Gerade beim Einsatz in der Herstellung von Halbleitern ist dies nicht wünschenswert.

Im Stand der Technik ist es bekannt, insbesondere das Kugellager im oberen Lager durch ein magnetisches Lager zu ersetzen. Um die geforderte hohe Steifigkeit zu erzielen, ist in der Regel ein aktives magnetisches Radiallager notwendig. Der technische Aufwand eines solchen Lagers ist hoch: zunächst werden Elektromagneten benötigt, die eine variable Positionierung (gesteuert durch den Strom) erlauben. Zusätzlich bedarf es Positionssensoren, die die Lage des Rotors feststellen und diese als Eingangssignal an eine Regelelektronik geben. Diese steuert den Strom, mit dem die Elektromagneten betrieben werden. Mit zunehmender Steifigkeit des Lagers, steigen die einzusetzenden Ströme an. Es entsteht zusätzliche Wärme, die es abzuführen gilt. Der verglichen mit Kugellagern deutlich höhere technischen Aufwand bedingt einen höheren Fertigungspreis, den man für die besseren Wartungs- und Lagereigenschaften in Kauf nehmen muss.

In einigen Anwendungsbereichen, z.B. der Halbleiterindustrie, haben sich die magnetisch gelagerten Pumpen durchgesetzt. Bezeichnet man als konventionelle Lager diejenigen Lager, die in großen Stückzahlen verbaut werden und seit Jahren auf dem Markt etabliert sind, müssen die magnetischen Lagerungen hinzu gezählt werden.

Ein anderer Weg wurde bereits 1973 in der Offenlegungsschrift DE-OS 22 55 618 vorgestellt. Diese Veröffentlichung lehrt den Einsatz von Gaslagern in Turbomolekularpumpen, wobei alle Freiheitsgrade (außer dem der Rotation) durch die Gaslager unterstützt werden. Eine hohe Steifigkeit erzielt man bei Gaslagern nur, wenn die Spalte zwischen Welle und Stator des Lagers sehr klein sind. Mit diesem Merkmal, der Verringerung der Spalte, stößt man jedoch sehr schnell an Grenzen, besonders wenn es um die Präzision bei der Montage von Stator- und Rotorteilen geht. Da zum Beispiel bei der Verwendung von zwei in einem gewissen Abstand voneinander angebrachten Radiallagern die geringste Abweichung der Zentrierung in einem der Lager eine unzulässige Veränderung der äußerst engen Spalte im jeweils anderen

Lager hervorruft, ist es äußerst schwierig, wenn nicht nahezu unmöglich, die notwendigen hochpräzisen Einstellungen vorzunehmen. An der Lösung dieses Problems wurde gearbeitet, beispielsweise durch eine geeignete Aufhängung der Lagereinheit im Pumpengehäuse wie in DE-OS 199 15 983 offenbart. Die verfolgten Ansätze mündeten aber bisher nicht in kommerziell erfolgreichen gasgelagerten Turbomolekularpumpen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Gasreibungspumpe mit fliegend gelagertem oder glockenförmigem Rotor zu bauen, die eine wartungsfreundliche Konstruktion besitzt und bei der das näher am Schwerpunkt des Rotors gelegene Lager eine hohe Steifigkeit aufweist. Die Konstruktion soll das Problem der hochpräzisen Zentrierung lösen.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des ersten Anspruchs.

Eine Gasreibungspumpe mit glockenförmigem oder fliegend gelagertem Rotor hält den hohen Belastungen im näher am Schwerpunkt gelegenen Lager besser stand, wenn an dieser Stelle ein Gaslager verwendet wird. Gaslager besitzen eine hohe Steifigkeit und können auch bei den geforderten hohen Drehzahlen betrieben werden. Sie sind nur in sehr geringem Maße verschleißanfällig, verlängern damit die Wartungsintervalle und reduzieren folglich die Kosten erheblich. Durch die Verwendung nur eines radialen Gaslagers wird die Notwendigkeit der hochpräzisen Zentrierung der Lagerpunkte vermieden. Zum anderen wird durch die Bauweise nach den Ansprüchen 3 bis 6 diese hochpräzise Zentrierung und damit die Verwendung weiterer Gaslager möglich. Zur Umsetzung der Erfindung können alle Arten von Gaslager eingesetzt werden, insbesondere aerodynamische und aerostatische Lager.

Anhand der einzigen Abbildung soll die vorliegende Erfindung erläutert und weitere vorteilhafte Ausgestaltungen vorgestellt werden. Die Abbildung zeigt das Beispiel einer Turbomolekularpumpe mit fliegend gelagertem Rotor. In dem Pumpengehäuse 1 mit Ansaugflansch 2 und Ausstoßöffnung 3 sind die feststehenden pumpaktiven Bauteile als Statorscheiben 6 montiert. Die rotierenden pumpaktiven Bauteile sind als Rotorscheiben 5 mit der Rotorwelle 4 fest verbunden. Diese wird durch eine Antriebseinrichtung 13 in Rotation versetzt.

In einem zylindrischen Gehäuseteil 7 befinden sich neben der Antriebseinrichtung eine untere radiale Lagereinheit 8 und eine obere radiale Lagereinheit 9 zur Unterstützung der Rotorwelle. Ein Lager 16 unterstützt die Rotorwelle in axialer Richtung. Im gezeigten Beispiel ist es am unteren Ende der Rotorwelle platziert, dieses axiale Lager kann sich aber auch an anderer Stelle befinden, beispielsweise nahe dem oberen Radiallager 9. Zwischen der oberen Lagereinheit und dem Gasauslassbereich 20 sind Dichtungsmittel 11 vorhanden. Die obere Lagereinheit ist als Gaslager ausgebildet und wird über eine Gaszuführung 10 mit Gas versorgt. Diese obere Lagereinheit sitzt von beiden Lagereinheiten dem Schwerpunkt des Rotors am nächsten und muss den größten Lagerkräften standhalten. Bei fliegender Lagerung sind dies dynamische Kräfte, doch auch bei glockenförmigen Rotoren ist die Belastung hier am höchsten, insbesondere wenn die Pumpe nicht senkrecht eingebaut ist. Daher ist dieses Lager als Gaslager ausgebildet, welches eine hohe Steifigkeit besitzt. Gleichzeitig ist es prinzipbedingt sehr verschleißarm, weshalb die Wartungskosten durch bedeutend selteneren Lagerwechsel reduziert werden.

Die untere Lagereinheit kann ein ölgeschmiertes Kugellager oder ein sonstiges konventionelles Lager sein, da hier die Kräfte geringer sind. Ein Wechsel des Lagers ist an dieser Stelle weniger problematisch und damit weniger kostenaufwändig.

Aus Gaslagern strömt das Betriebsgas aus, welches den Gasfilm erzeugt, auf dem das zu lagernde Objekt schwebt. Dieses Gas darf nicht in den Bereich niedrigen Drucks gelangen und muss durch geeignete Dichtungsmittel 11 von Schöpfraum und Gasauslass 20 ferngehalten werden. Diese Dichtungsmittel können beispielsweise Labyrinthdichtungen oder Mittel zur Gasabsaugung zwischen Lager 9 und Gasauslass 20 sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist die obere Lagereinheit mit dem Gaslager als Modul ausgebildet, wobei hierunter eine Baueinheit zu verstehen ist, die aller notwendigen Bauteile des Lager enthält. Dieses Modul wird dann in einen zylindrischen Teil des Gehäuses eingebracht und dort fixiert. Hierdurch kann das Gaslager als eigene Einheit hergestellt werden. Die Herstellung solcher Gaslager mit kleinen Spaltmaßen und lasergebohrten Löchern ist fehleranfällig. Sollte bei der Herstellung ein Lagermodul nicht den notwendigen Standards entsprechen, wird es einfach nicht verbaut. Ohne die Verwendung der Modularweise ist ein deutlich größeres Teil der Pumpe betroffen und kann nicht mehr

verwendet werden. Mit der Modulbauweise ist es also möglich, Produktionskosten einzusparen.

Denkt man dieses Prinzip weiter, gelangt man zu einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung. In dieser Ausgestaltung werden sämtliche Lagereinheiten 8, 10 und auch die Antriebseinrichtung 13 als Module ausgestaltet. Diese Module können separat hergestellt werden. Anschließend werden sie in einen zylindrischen Gehäuseteil eingeschoben und gesichert. Hierdurch ergibt sich ein sehr gutes Fluchten der einzelnen Lagerelemente und die Produktionskosten werden weiter gesenkt. Überdies wird die Pumpe noch wartungsfreundlicher. Weiterhin ist es denkbar, auf diese Art eine komplett mit axialen und radialen Gaslagern versehene Pumpe zu konstruieren, das Prinzip ist aber nicht darauf beschränkt. Auch passive oder aktive Magnetlager können, ebenso wie Kugellager, in ein eigenes Modul eingebaut werden, das dann mit den restlichen Modulen kombiniert wird. Denkbar ist auch, sämtliche Lagerbestandteile und den Motor zusammen zu fassen und in ein Modul zu integrieren, das in einem einzigen Arbeitsgang in die Pumpe eingebaut wird.

### **Ansprüche**

1. Gasreibungspumpe mit feststehenden (6) und rotierenden (5), auf einer drehbaren Rotorwelle (4) fixierten, pumpaktiven Bauteilen, wobei die Rotorwelle (4) und die rotierenden pumpaktiven Bauteile (5) Bestandteile des Rotors sind und die Rotorwelle (4) durch zwei beabstandete Radiallager (8, 9), von denen eines näher am Schwerpunkt des Rotors als das andere angebracht ist, und einem Axiallager (16) unterstützt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Radiallager (9), welches sich näher am Schwerpunkt des Rotors befindet, ein Gaslager ist.
2. Gasreibungspumpe nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass das axiale Lager (16) ein Gaslager ist.
3. Gasreibungspumpe nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Lager aus einem eigenständigen Modul besteht.
4. Gasreibungspumpe nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass auch die Antriebseinrichtung (13) aus einem eigenständigen Modul besteht.
5. Gasreibungspumpe nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Lager in einem Modul zusammengefasst sind.
6. Gasreibungspumpe nach Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Lager und die Antriebsmittel in einem Modul zusammengefasst sind.
7. Gasreibungspumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Module mit einem zylindrischen Teil (7) des Pumpengehäuses in Eingriff gebracht und gesichert wird.
8. Gasreibungspumpe nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass Dichtungsmittel (11) zwischen Gaslager und Gasauslassbereich (20) vorhanden sind.

### **Zusammenfassung**

Gasreibungspumpe mit feststehenden (6) und rotierenden (5), auf einer drehbaren Rotorwelle (4) fixierten, pumpaktiven Bauteilen, wobei die Rotorwelle (4) und die rotierenden pumpaktiven Bauteile (5) Bestandteile des Rotors sind und die Rotorwelle (4) durch zwei beabstandete Radiallager (8, 9), von denen eines näher am Schwerpunkt des Rotors als das andere angebracht ist, und einem Axiallager (16) unterstützt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Radiallager (9), welches sich näher am Schwerpunkt des Rotors befindet, ein Gaslager ist. In einer vorteilhaften Ausführung sind die Gaslager als Module ausgeführt und können mit einem zylindrischen Gehäuseteil in Eingriff gebracht und gesichert werden.